

Monitoreo y Medición de RF Basado en SDR (Radio Definida por Software)

SDR (Software Defined Radio) Based RF Monitoring and Measurement

Presentación: 07/09/2024

Marcos Ariel Loidi

Facultad Regional Bahía Blanca
Universidad Tecnológica Nacional
juanfloidi@gmail.com

Guillermo Héctor Reggiani

Facultad Regional Bahía Blanca
Universidad Tecnológica Nacional
ghreggiani@frbb.utn.edu.ar

Lorenzo De Pasquale

Facultad Regional Bahía Blanca
Universidad Tecnológica Nacional
spellegrino@frbb.utn.edu.ar

Oscar Alfredo Conde

Facultad Regional Bahía Blanca
Universidad Tecnológica Nacional
pasquale@frbb.utn.edu.ar

Héctor Ricardo Bambill

Facultad Regional Bahía Blanca
Universidad Tecnológica Nacional
mariozabaloy@frbb.utn.edu.ar

Resumen

Se presenta una red de sensores para medición de potencia de radio frecuencia, basados en un equipo de radio definida por software y en el ordenador de placa única Raspberry Pi. Estos forman nodos secundarios de medición conectados a un nodo primario que actúa como servidor. Los datos recolectados se transmiten hacia el servidor que se encarga de procesarlos, almacenarlos en una base de datos y presentarlos a través de una página web para su análisis en tiempo real y en forma de historial. El software desarrollado ofrece además la posibilidad de configurar filtros y alertas en función de niveles preestablecidos. La red de sensores se vincula a la web con un túnel virtual cifrado o red privada virtual. Permite medir potencia desde 50MHz hasta 2GHz aproximadamente. Se presentan los resultados de las mediciones y su evaluación en diversas bandas de frecuencias, horarios e intervalos diarios. Se integra al trabajo un esquema de validación de las mediciones a partir del equipamiento disponible. En la configuración desarrollada se establece una relación entre la potencia medida por el SDR (dBm), y la densidad de potencia (mW/cm²) que capta su antena.

Palabras clave: densidad de potencia, radio definida por software, radiaciones no ionizantes, comunicaciones inalámbricas.

Abstract

A sensor network for measuring radio frequency power is presented, based on a software-defined radio equipment and the Raspberry Pi single-board computer. These two form secondary measurement nodes connected to a primary node that acts as a server. The collected data is transmitted to the server, which is responsible for processing it, storing it in a database and presenting it through a web page for analysis in real time and in the form of a history. The developed software also offers the possibility of configuring filters and alerts based on pre-established levels. The sensor network is linked to the web with an encrypted virtual tunnel or virtual private network. It allows power to be measured from approximately 50MHz to 2GHz. The results of the measurements and their evaluation in various frequency bands, schedules and daily intervals are presented. A scheme for validating the measurements based on the available equipment is integrated into the work. In the developed configuration, a relationship is established between the power measured by the SDR (dBm), and the power density (mW/cm²) captured by its antenna.

Keywords: power density, software defined radio, non-ionizing radiation, wireless communications

Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo la implementación de un sistema de monitoreo de densidad potencia electromagnética para exteriores en zonas urbanas. Un motivo obedece a la densidad de población y por consiguiente son de mayor interés los valores medidos, y la importancia de evaluar el impacto sobre el medio ambiente y la salud. El segundo motivo se debe a la infraestructura existente, en nuestro caso se instalan los equipos de medición en edificios de la Universidad, lo que facilita la conexión de los equipos a Internet como así también las instalaciones necesarias de montaje y el lugar donde se colocan los mismos. También se evita así el uso de antenas para el envío de los datos al servidor que recolecta los mismos.

Esta presentación también se vincula a una problemática de interés mundial, se refiere a las radiaciones no ionizantes (RNI) emitidas principalmente por las redes de telefonía móvil. Nuestro receptor de radio definida por software (SDR) el cual fue adquirido en Nooelec Store (disponible en <https://www.nooelec.com/store/nedr-smartee-xtr-sdr.html>), puede detectar esas bandas de comunicaciones y medirlas con el esquema propuesto en el presente desarrollo. Otros ejemplos de interés ambiental se tienen en la Universidad Nacional de la Plata (UNLP), que desarrolló un sistema de monitoreo continuo para analizar los niveles de radiación presentes en la ciudad durante los años 2019 y 2020 (disponible en <https://itma-cem.unlp.edu.ar/sistema-de-monitoreo-continuo>). Suiza (Madžarević et al., 2018) y Colombia (Vega et al., 2016) son otros ejemplos de países que analizan los niveles de radiación con el objetivo de compararlos con los límites establecidos en las reglamentaciones internacionales.

La línea de investigación presentada se encuentra en ejecución en el marco del proyecto titulado: “Medición Automática de Niveles de Radiaciones No Ionizantes (RNI) con Sistema en Red”, PID UTN 8187. El mismo es financiado por la Universidad Tecnológica Nacional, y su ámbito de realización es el Grupo SiTIC (Grupo de I+D en Sistemas y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones) de la UTN-Facultad Regional Bahía Blanca.

Desarrollo

Partiendo de un resultado preliminar (Guidi et al., 2017), se implementa la red de monitoreo sobre una zona urbana para obtener un muestreo de valores de potencia electromagnética en el ambiente. Para ello se deben responder algunas preguntas claves para su implementación, tales como el lugar específico ¿dónde se realizarán las mediciones?, ¿cómo adaptar el conjunto SDR y Raspberry Pi? para funcionar a la intemperie o ¿cómo implementar la comunicación entre los distintos equipos?

El lugar físico de implementación para esta red es la ciudad de Bahía Blanca, específicamente en la zona de macrocentro y periferia. Se decidió utilizar las propias instalaciones de la Facultad ya que se encuentran en zonas urbanas de estas características con una supuesta elevada contaminación electromagnética y poseen las torres e infraestructura necesaria para montar el sistema de monitoreo. Esto puede observarse en la Figura 1.

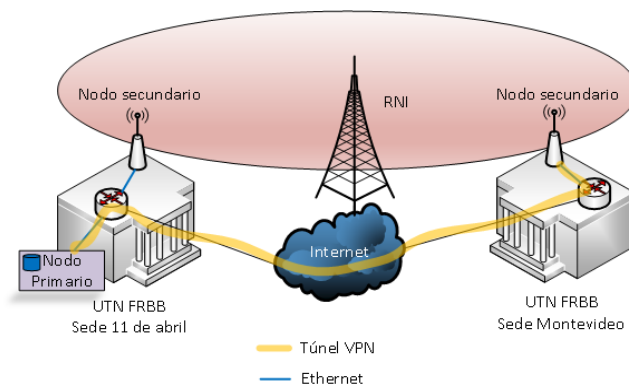


Figura 1. Diagrama ilustrativo del sistema de monitoreo

Se gestiona la comunicación entre los equipos con la infraestructura brindada por Internet, aprovechando que es en una zona urbana con múltiples accesos a través de los proveedores de servicios de Internet (ISP). Para trabajar de la misma manera que en una red LAN se configura una red privada virtual (VPN) entre los nodos, tal como se observa en la Figura 1. El dispositivo de medición, denominado nodo secundario, se adapta para su funcionamiento en intemperie y con un diseño robusto que asegure su funcionamiento, incluso en condiciones climáticas desfavorables. La unidad de medición conformada por el conjunto SDR y Raspberry Pi ubicada en el exterior se aloja en un gabinete estanco. La comunicación con el enrutador Ethernet que da acceso a Internet se realiza a través de un cable U/UTP Categoría 6 que, además de datos, alimenta a los dispositivos de medición (Power Over Ethernet, PoE).

En la Figura 2 se muestra un diagrama en bloques del sistema de monitoreo, donde se ilustran sus principales elementos previamente mencionados. En el caso del nodo primario, cuya función es recolectar información de los secundarios y darle una interfaz gráfica al usuario, no se realizan mayores cambios en su diseño a excepción de la configuración de un servidor VPN. No es necesario el uso de un gabinete estanco, ya que va ubicado en un sector interno al edificio, donde no se ve afectado por condiciones de alta humedad, cambios bruscos de temperatura, suciedad, vibraciones y/o golpes.



Figura 2. Diagrama en bloques del sistema

Primario y secundario

El nodo primario (o principal) y los secundarios son similares y poseen el mismo hardware. El primario cumple las funciones de servidor recopilando la información enviada por los secundarios y a su vez la presenta en una página web. Esto último con software propio desarrollado para tal fin, permitiendo configurar distintos tipos de mediciones (rango de frecuencia, paso en frecuencia y periodo de muestreo). La Figura 3 presenta el nodo secundario (de monitoreo), ubicado en un gabinete estanco para el exterior. De esta manera, quedan todos los elementos confinados herméticamente donde solo se tienen dos conexiones con el exterior, una para los datos y alimentación con un conector de Ethernet PoE, y la otra con un conector SMA hembra para la conexión de la antena al SDR.



Figura 3. Nodo de monitoreo

Comunicación del sistema de monitoreo

Los equipos de monitoreo se colocan en sitios remotos y se conectan a la red de Internet de forma cableada para poder alimentarlos a través de PoE. Una vez conectados los dispositivos a la red, establecen una conexión remota a la VPN para mantener la comunicación segura. Todos los nodos secundarios los datos al nodo primario a través del túnel VPN.

En el nodo primario a su vez corre el sistema web el cual permite realizar la configuración y visualización del monitoreo. Los datos son almacenados en una base de datos dentro del mismo. Se utilizó WireGuard (disponible en <https://www.wireguard.com>) para crear los túneles VPN.

Para acceder al sistema web desde otra computadora ubicada en un lugar diferente de los nodos, se debe instalar WireGuard y con las credenciales de este acceder a la red. Una vez creado el túnel VPN, a través del navegador se puede ingresar al sistema para realizar las configuraciones, mediciones y extracción de la información.

Presentación de los datos

La Figura 4 muestra el sistema web desarrollado para tomar las mediciones que efectúan los nodos. En la misma se puede seleccionar el nodo, el rango de frecuencias, el paso o intervalo de frecuencia y el periodo de tiempo de muestreo. Los resultados se guardan en una base de datos para después poder descargarlos en un archivo con formato ".csv".

En la pantalla se muestra la última medición con una gráfica de los valores obtenidos de frecuencia y amplitud.

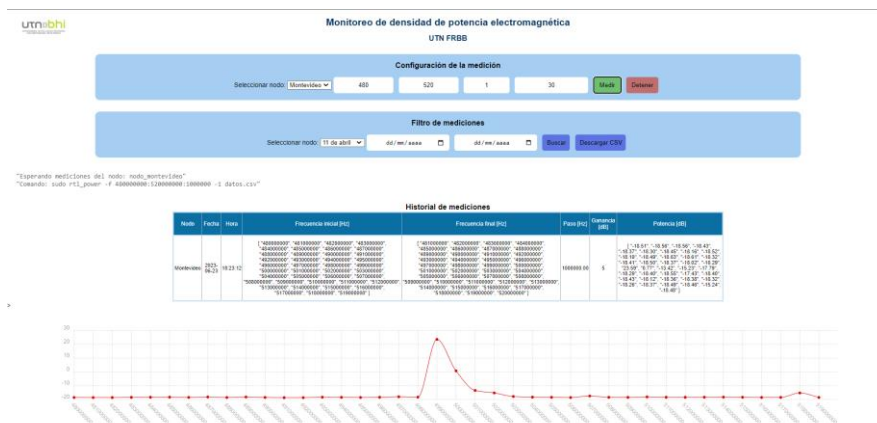


Figura 4. Presentación web del sistema de monitoreo

Verificación de las mediciones

La figura 5 muestra el esquema utilizado para la verificación de las mediciones tanto en amplitud como en frecuencia. Las mismas fueron hechas a una frecuencia de 500 MHz con los instrumentos disponibles en el laboratorio de radio frecuencia. Las mediciones de amplitud se monitorean con el medidor de intensidad de campo TENMARS TM-105 (disponible en <http://www.tenmars.com/>) en mW/cm². La frecuencia se monitorea con un analizador de espectro Gw Instek GSP 730 al igual que la potencia recibida medida en dBm.

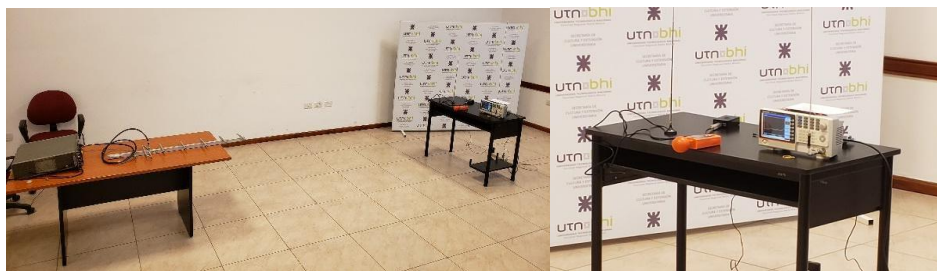


Figura 5. Esquema para la verificación de mediciones

Registros de mediciones

Se presentan a continuación los primeros resultados preparados para este evento. Se tomaron los datos durante tres días, con dos mediciones por hora, dando un total de 48 mediciones por día. Las potencias medidas con nuestros equipos (ambos nodos) se grafican en función de los intervalos de frecuencia de 10MHz visualizados en las Figuras 6 y 7. Para cada hora se toma la mediana de las potencias entregadas por el SDR en el periodo considerado. Se opta por esta operación por ser representativa entre los valores generados en cada frecuencia para todas las horas del día.

Nodo 1, Secundario 11 de abril

Frecuencia [MHz]	Potencia [dBm]	Densidad de Potencia [mW/cm ²]
710	-24,70	0,00000759
720	-25,41	0,00000644
730	-25,41	0,00000644
740	-24,74	0,00000751
750	-25,45	0,00000638
760	-25,31	0,00000659
770	-4,26	0,00083887
780	-8,92	0,00028687
790	-10,27	0,00021023
800	-23,34	0,00001038
810	-22,82	0,00001169
820	-25,00	0,00000708
830	-24,82	0,00000738
840	-21,51	0,00001580
850	-24,76	0,00000749
860	-23,68	0,00000959
870	-22,64	0,00001218
880	-5,07	0,00069613
890	-3,18	0,00107694
900	-23,56	0,00000986

Tabla 1. Datos numéricos Nodo 1.

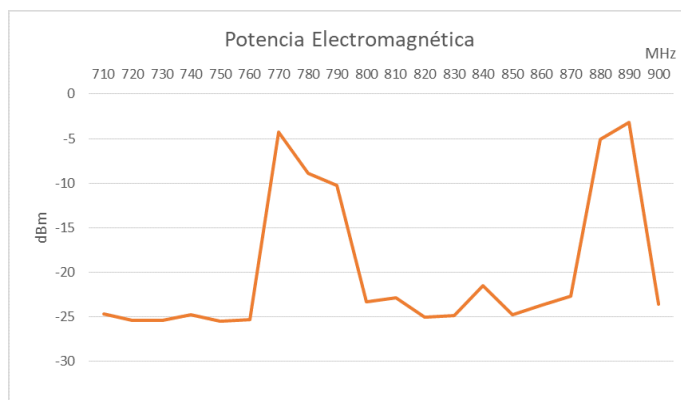


Figura 6. Datos de Tabla 1 graficados en rangos de frecuencia.

De la Tabla 1 para 890 MHz tenemos el máximo de potencia -3,18dBm. Con el área efectiva de la antena, se obtiene la densidad de potencia máxima para el Nodo 1 de $5,34.10^{-3}\mu\text{W}/\text{cm}^2$. Valores muy cercanos se dan para el otro máximo en -4,26dBm en 770 MHz. Para el resto de la banda considerada las mediciones arrojan valores insignificantes.

Nodo2, Secundario Montevideo

Frecuencia [Mhz]	Potencia [dBm]	Densidad de Potencia [mW/cm2]
710	-26,13	0,00000546
720	-26,82	0,00000465
730	-26,87	0,00000460
740	-26,07	0,00000553
750	-26,91	0,00000456
760	-26,76	0,00000472
770	-24,25	0,00000842
780	-21,20	0,00001699
790	-16,20	0,00005367
800	-25,40	0,00000645
810	-26,73	0,00000475
820	-26,36	0,00000517
830	-26,11	0,00000548
840	-22,69	0,00001204
850	-26,14	0,00000545
860	-26,28	0,00000527
870	-25,93	0,00000571
880	-19,68	0,00002408
890	-13,42	0,00010190
900	-26,34	0,00000520

Tabla 2. Datos numéricos Nodo 2.

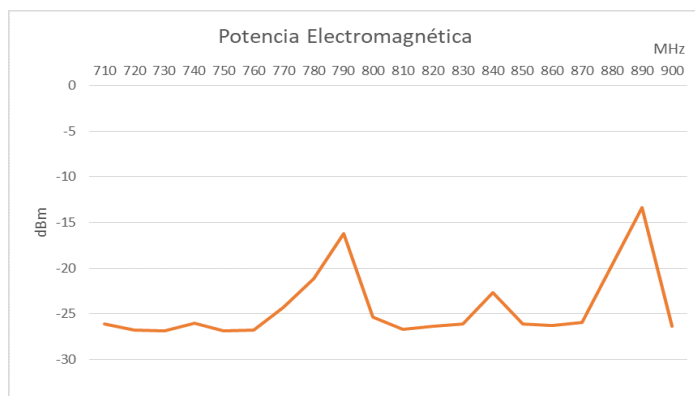


Figura 7. Datos de Tabla 2 graficados en rangos de frecuencia.

De la Tabla 2 para 890 MHz tenemos el máximo de potencia -13,42 dBm. Con el área efectiva de la antena, se obtiene la densidad de potencia máxima para el Nodo 2 de $5,10 \cdot 10^{-3} \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Valores muy cercanos se dan para el otro máximo en -16,20 dBm en 790 MHz. Para el resto de la banda considerada las mediciones arrojan valores insignificantes.

Discusión de los resultados

La banda de frecuencias elegida, además de estar en la capacidad de nuestro dispositivo, tiene la particularidad de cubrir algunas correspondientes a las comunicaciones móviles. Este espectro fue siempre sensible a los posibles efectos nocivos sobre el ser humano.

En ambos nodos donde se hicieron las mediciones, los valores obtenidos para la densidad de potencia en el receptor son: $5,34 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ y $5,10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Si tenemos en cuenta la normativa nacional a través de la Resolución 202/95 para las frecuencias indicativas de 890 MHz y 770 MHz, usando $f/2000$ se tienen: $0,445 \text{ mW}/\text{cm}^2$ y $0,385 \text{ mW}/\text{cm}^2$. Los guarismos medidos son muy inferiores a los valores medidos en el campo.

Este resultado, preliminar, nos permite continuar con el monitoreo para las bandas elegidas. Obviamente será necesario establecer periodos de tiempo más largos de manera que las mediciones puedan asegurar no sobrepasar límites de seguridad.

Conclusiones

Dentro de la temática y objetivos del proyecto en que se realiza este trabajo, se puede mencionar que se ha desarrollado una experiencia importante plasmada a través de diversos trabajos publicados (Guidi et al., 2017), (Banfi et al., 2015), (Macchi Konrad et al., 2013), (De Pasquale et al., 2014), (Ortiz et al., 2014), (Macchi Konrad et al., 2014: 3-8) y (Banchieri et al., 2014). En el presente desarrollo se llegó a implementar todo el hardware y el software para el manejo de los datos de potencia y frecuencia de las señales detectadas, trabajando con una red de nodos ubicados en puntos específicos de la ciudad (edificios de la facultad). Con este sistema se puede seleccionar la banda de frecuencias de interés, acceder a un historial de valores medidos previamente y se tiene la posibilidad de agregar nodos secundarios adicionales en cualquier sector de la ciudad siempre que cuenten con acceso a Internet, brindándole la característica de escalabilidad al sistema. Se presentaron los resultados de mediciones en dos nodos para un rango de frecuencias típico de comunicaciones móviles. Éstas arrojan como resultado que los niveles de radiación existentes en el entorno de los nodos son mucho menores a los recomendados por la Resolución 202/95.

Referencias

Banchieri, M. A., Macchi Konrad, J. M. y De Pasquale, L. (2014). "La transformada wavelet packet en las técnicas de sensado espectral", V Congreso de Microelectrónica Aplicada 2014, 14 al 16 de mayo de 2014, Instituto Universitario Aeronáutico, Córdoba.

Banfi D., Macchi Konrad J. M., De Pasquale L., Banchieri M. A. y Alvarez M. (2015). "Sistema de medición de potencia de RF empleando un software defined radio (SDR)", VI Congreso de Microelectrónica Aplicada 2015, 27 al 29 de mayo de 2015, Universidad Nacional de La Matanza. ISBN 978-987-3806-24-7.

De Pasquale L., Macchi Konrad J. M. y Banchieri M. A. (2014). "Análisis basado en la transformada wavelet packet para determinar bandas de frecuencias vacantes", V Congreso de Microelectrónica Aplicada, 2014.

Guidi J. C., Mancini M., De Pasquale L., Banchieri M. A., Pellegrino S. y Reggiani G. (2017). "Red de Sensores para Monitoreo Remoto de Densidad de Potencia de RF basado en Radio Diseñada por Software", VIII Congreso de Microelectrónica Aplicada 2017, 11 al 13 de octubre de 2017, Universidad Nacional de Córdoba.

INNOVAR 2015 -Catálogo concurso nacional de innovaciones, Producto Innovador N° 18471, Undécima Edición del Concurso Nacional de Innovaciones.

Macchi Konrad J.M. , De Pasquale L., Banchieri M. A., Reggiani G., Cayssials R. y Ferro G. (2014). "Wavelet hardware processing unit for transient signal detection", Proceedings of the IX IEEE Southern Programmable Logic Conference, pp.:3-8, November 5-7, 2014, Buenos Aires, Argentina, ISBN – 978-1-4799-6848-0.

Macchi Konrad, J. M., De Pasquale y L., Banchieri, M. A. (2013). "Análisis basado en la transformada wavelet para determinar duración de transitorios en señales", IV Congreso de Microelectrónica Aplicada 2013, 25 al 27 de septiembre de 2013, Facultad Regional Bahía Blanca de la UTN.

Madžarević V., Tešanović M. y Hrustanović-Bajrić M. (2018). "Monitoring of Non-ionizing Electromagnetic Fields in the Urban Zone of Tuzla City", Proceedings of the International Symposium on Innovative and Interdisciplinary Applications of Advanced Technologies (IAT), Volume 1. Suiza.

Ortiz L., Macchi Konrad J. M., De Pasquale L. y Banchieri M. A. (2014). "Determinación de transitorios en sistemas físicos usando la transformada discreta wavelet", WICC 2014, XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, 7 y 8 de mayo 2014, Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Instituto de Desarrollo Económico e Innovación, Ushuaia, Argentina. Red UNCI, ISBN: 978-950-34-1084-4.

Vega F., Pantoja J. y Morales S. (2016). "An IoT-based open platform for monitoring non-ionizing radiation levels in Colombia", 2016 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM)